

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**INSTALACIÓN DE UN EQUIPO DE CONTROL DE EMISIONES DE GASES
DE UN HORNO DE FUSIÓN.**

TESIS

QUE PRESENTA

FRANCISCO SANTANA ZENTENO PÉREZ

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

JUNIO DE 2010.

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

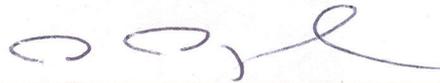
**INSTALACIÓN DE UN EQUIPO DE CONTROL DE EMISIONES DE GASES DE
UN HORNO DE FUSIÓN.**

TESIS DEL C. **FRANCISCO SANTANA ZENTENO PÉREZ** QUE SE SOMETE A
CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR Y APROBADA COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

PRESIDENTE:



DR. JOSE LUIS REYES CARRILLO

VOCAL:



ING. JOEL LIMONES AVITIA

VOCAL:



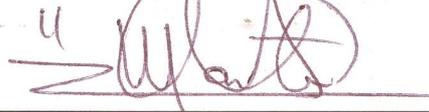
DR. ALFREDO OGAZ

VOCAL SUPLENTE:



I.B.Q. RUBI MUÑOZ SOTO

EL COORDINADOR DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS



M. E. VICTOR MARTINEZ CUETO



**Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas**

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

JUNIO DE 2010.

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**INSTALACIÓN DE UN EQUIPO DE CONTROL DE EMISIONES DE GASES DE
UN HORNO DE FUSIÓN.**

TESIS DEL C. **FRANCISCO SANTANA ZENTENO PÉREZ** ELABORADA BAJO
LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORIA Y APROBADA
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

ASESOR:



DR. JOSE LUIS REYES CARRILLO

COASESOR:



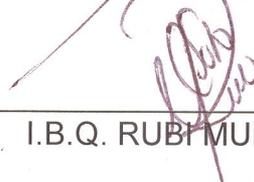
ING. JOEL LIMONES AVITIA

COASESOR:



DR. ALFREDO OGAZ

COASESOR:



I.B.Q. RUBI MUÑOZ SOTO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS



M. E. VICTOR MARTINEZ CUETO



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

JUNIO DE 2010.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS.

Gracias por su ayuda en los momentos más difíciles de mi vida y por su amor incondicional que siempre me da, gracias por haber estado conmigo en todo momento y en este proceso de formación y que a pesar de no merecer tanto me dio todas sus bendiciones, el saber que en todo momento puedo contar con él me da las fuerzas para seguir adelante, y que aun estando muy lejos de mis seres queridos sabía que él estaba conmigo, muchas gracias por la fortaleza que me dio en un capítulo muy difícil en mi vida y la de mi familia, por todo esto y mucho más gracias Señor.

A MI "ALMA, TERRA, MATER"

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna Por haberme permitido terminar mi carrera profesional en ella, por darme las herramientas necesarias para poder afrontar la vida mediante una formación profesional y sobre todo gracias porque en ella pude conocer a personas que ya forman parte de la historia de mi vida.

A MIS ASESORES.

Al Dr. José Luis Reyes Carrillo, gracias por su sencillez, habilidad y calidad humana que mostró en el tiempo de la realización de este trabajo, por brindarme su apoyo, asesoramiento, amistad y sus conocimientos para la culminación de este trabajo de tesis.

Al Ing. Joel Limones Avitia, gracias por el apoyo que me brindó y la paciencia que me tuvo en la realización de mi tesis gracias por enseñarme algunos de sus conocimientos, pero sobre todo por su amistad.

Al Dr. Alfredo Ogaz gracias por su sencillez, amistad, apoyo y por toda su disponibilidad que me brindó durante este proceso.

A la Ing. Rubí Muñoz Soto, gracias por el apoyo brindado durante mi estancia dentro de la universidad, por su paciencia y por su amistad.

En especial agradecimiento al Ing. Bazaldua que en paz descansa por todos los consejos, apoyos, regaños, enseñanzas, por compartir sus experiencias profesionales y de vida, por ser un gran ser humano, amigo, padre y sobretodo muchas gracias por el amor y cariño que le tuvo a Chiapas, gracias "paisa" donde quiera que estés, Dios te bendiga.

A MIS AMIGOS.

Gracias a todos mis amigos por los ánimos que me brindaron y que siempre me persuadieron de terminar esta meta gracias por el apoyo incondicional que me han dado y por estar conmigo en las buenas y en las malas.

A los amigos que gracias a Dios pude conocer acá en Torreón, a René Ovando de Paz, Humberto Gómez Zavala, Victoria Cárdenas Santiago, Marlene Hernández Roblero, y en especial a un angelote que Dios me mando para ser una mejor persona, mi gorda consentida Iliana Rodríguez jamás te voy a olvidar amiga, a ellos no tengo como agradecerles por todo ya que siempre estuvieron ahí para apoyarme y estoy seguro que con cada uno de ellos formé un buen equipo de trabajo y sobretodo una muy buena familia de amigos ya que siempre nos apoyamos. Les deseo que les vaya muy bien en todo lo que se propongan por hacer, suerte y mucho éxito. Dios los bendiga.

DEDICATORIAS

A DIOS

Por haberme otorgado el Ser y permitirme terminar una de las metas más grandes de mí existir, por darme siempre la fortaleza y jamás dejarme vencer ante las adversidades que la vida me pone.

A MI FAMILIA.

Por su comprensión y ayuda en momentos malos y buenos. Me han enseñado a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, y todo ello con una gran dosis de amor y sin pedir nunca nada a cambio.

A MIS PADRES.

A mi padre Santa Ana Zenteno López (+) que se me adelantó en el difícil camino de la vida, pero sé que donde quiera que él esté sé que está muy orgulloso de mi y que al igual que yo está disfrutando de este importante triunfo en mi vida, fue y es un hombre admirable, que en su momento me brindo cuidados, amor y comprensión, que con su historia de vida orientó mis pasos por el camino correcto de la vida, con el tiempo quizá pueda imitarlo, tal vez pueda igualarlo, pero jamás superarlo.

A mi madre María del Carmen Pérez Martínez a ella especialmente le dedico esta Tesis ya que es la persona que más directamente ha sufrido los esfuerzos de este trabajo y de este sueño, Realmente ella me llena por dentro para conseguir un equilibrio que me permita dar el máximo de mi, reciba esta modesta dedicación como un homenaje a su grandeza, que de niño me diera cuidados y de hombre fortaleza. Hago votos para que hoy de dicha mis logros la colmen y mañana la llenen de orgullo. Tenga presente que la gloria más grande que tengo es el ser hijo suyo y recuerde que cada triunfo mío es suyo también.

A MIS HERMANOS.

A la Lic. Sandra Argentina Zenteno Pérez, por todo el apoyo incondicional que me brindó y por ser ejemplo de superación en mi vida, a mi hermano Erick Zenteno Pérez que aunque no es muy expresivo se que se siente muy orgulloso de mí y le agradezco por estar ahí siempre para no perderme ya que yo soy su ejemplo a seguir y eso hace que no cometa errores tontos, gracias hermanos los amo mucho Dios me los bendiga.

A MI TIO.

Luis Alberto Pérez Martínez por todo el apoyo incondicional que me brindó tanto económicamente, como con las llamadas de atención, gracias por que usted fue el partícipe para la realización de este sueño que finalmente cumplí. Gracias por eso, por los ánimos que me dio y sobre todo por la confianza que puso en mí. Dios lo Bendiga.

ÍNDICE

Página

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
I.INTRODUCCIÓN	1
I.1. Planteamiento del problema.....	2
II. JUSTIFICACIÓN	3
III. OBJETIVOS	4
III. 1 General.....	4
III. 2 Específicos.....	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	5
IV. 1. Evaluación de emisiones.....	5
IV. 2. Industria de fundiciones de metales.....	6
IV. 3. Descripción del proceso productivo.....	7
IV. 4. Emisiones Atmosféricas: Identificación de Contaminantes.....	13
IV. 5. Evaluación de Emisiones a partir de Cálculo/Estimación.....	17
IV. 6. Factores de Emisión de Instalaciones Auxiliares en Procesos de Combustión.....	18
IV. 7. Criterios de selección particulares a las fundiciones.....	19
IV. 8. Control de la contaminación en las operaciones de fundición.....	22
IV. 9. Métodos para el control de la contaminación.....	23

V. MATERIALES Y METODOS	26
V. 1 Cálculo y Diseño.....	28
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
VII. CONCLUSIONES	35
VIII. RECOMENDACIONES	36
IX. LITERATURA CITADA	37

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS.

CUADRO		Página
1	Procesos y residuos de un proceso productivo de hierro dulce.....	6
2	Contaminantes recogidos en sub-lista sectorial del Documento Guía para realización del Inventario Europeo de Emisiones y Fuentes Responsables (EPER).....	16
3	Evaluación de las emisiones a partir de factores de emisión.....	17
4	Valores aplicables para la determinación y cálculo de las emisiones a la atmosfera.....	18
5	Diámetro de partículas (μ).....	28
6	Parámetros de valores para dimensiones de un ciclón convencional.....	30
7	Ventajas y Desventajas de equipo de control.....	33

FIGURA		Página
1	Diagrama general del proceso de Fundición.....	8
2	Diagrama de Flujo de Emisiones Atmosféricas.....	13
3	Diagrama típico de un Ciclón colector.....	19
4	Diagrama típico de una casa de sacos.....	20
5	Diagrama de disposición típica de campana/dispositivo.....	21

RESUMEN

La industria del acero es una de las más importantes en los países desarrollados y de aquellos que están en vías de desarrollo. Su impacto económico tiene gran importancia como fuente de trabajo y como proveedor de los productos básicos requeridos por muchas otras industrias. Durante la fabricación de hierro y acero se producen grandes cantidades de emisiones atmosféricas. Las cuales, si no son manejadas adecuadamente, pueden causar mucha degradación de la tierra del agua y del aire. El objetivo de este trabajo fue proponer la instalación de un equipo de control de emisiones de gases de un horno de fusión y se llevó a cabo en la empresa denominada Electro Acero del Norte, S. A. de C. V., ubicada en el Parque Industrial de la ciudad de Gómez Palacio, Durango. La empresa tiene como principal actividad la elaboración de piezas en hierro gris, para lo cual funde chatarra de hierro dulce y aleaciones como ferrosilicio y ferroligas. De acuerdo con los cálculos que se realizaron un Ciclón Colector convencional fue el equipo de control sugerido como el más adecuado para desechar las partículas contaminantes mediante centrifugado, ya que logra controlar de un 90 a 98% de los contaminantes. Según las normas de emisión, se requiere una eficiencia de separación de un 80% así que el ciclón colector cumple con esa normatividad.

Palabras Clave: equipo de control, emisiones contaminantes, contaminación atmosférica, ciclón colector.

INTRODUCCION

La industria del acero es una de las más importantes en los países desarrollados y de aquellos que están en vías de desarrollo. En los últimos años, esta industria, a menudo, constituye la piedra angular de todo el sector industrial. Su impacto económico tiene gran importancia, como fuente de trabajo, y como proveedor de los productos básicos requeridos por muchas otras industrias: construcción, maquinaria y equipos, y fabricación de vehículos de transporte y ferrocarriles. Durante la fabricación de hierro y acero se producen grandes cantidades de emisiones atmosféricas. Las cuales si no son manejadas adecuadamente, pueden causar mucha degradación de la tierra, del agua y del aire (Greenberg, 2001).

Existen muchas alternativas para la planificación e implementación de los proyectos, generalmente, el proceso de fabricación de hierro y acero que se utiliza depende de las materias primas que están disponibles, y sus propiedades minerales, químicas y físicas pueden variar grandemente; de las materias primas utilizadas para el proceso de reducción en el horno y de los combustibles utilizados en los hornos, calderas y centrales térmicas. La naturaleza de los productos finales también afecta el diseño de la planta. Una mini fábrica de acero que hace reducción directa del mineral y emplea un horno eléctrico basado en gas natural y electricidad, causará un impacto ambiental mucho menor (Novais, 2003).

Existe una amplia selección de procesos y equipos para controlar la contaminación. El mejor método de control y el equipo idóneo, dependerán del volumen y composición de los contaminantes que deben ser recuperados o descargados al medio ambiente (Greenberg, 2001).

La fundición es el proceso de producción de un objeto metal por vaciado de un metal fundido dentro de un molde y que luego es enfriado y solidificado. Desde tiempos antiguos el hombre ha producido objetos de metal fundido para propósitos artísticos o prácticos. Con el crecimiento de la sociedad industrial, la necesidad de fundición de metales ha sido muy importante. El metal fundido es un componente importante de la mayoría de maquinarias modernas, vehículos

de transporte, utensilios de cocina, materiales de construcción, y objetos artísticos y de entretenimiento. También está presente en otras aplicaciones industriales tales como herramientas de trabajo, maquinarias de manufactura, equipos de transporte, materiales eléctricos y electrónicos, objetos de aviación, etc. La mejor razón de su uso es que puede ser producida económicamente en cualquier forma y tamaño. El tipo más común de molde de fundición es hecho de arena y arcilla, en donde el diseño forma una cavidad en la cual se vaciará el material fundido. Los moldes deben ser fuertes, resistentes a la presión del metal derretido, y suficientemente permeable para permitir el escape de aire y otros gases desde la cavidad de los moldes. El material del molde también debe resistir la fusión con el metal (Fundación Entorno, 1998).

La fundición es una de las profesiones más antiguas. La producción de diseños para ser usados en fundición requiere cuidado, precisión y técnica. El proceso de fundición tradicional ha sido reemplazado por una fundición mecanizada. Con la crisis energética en años recientes, la racionalización de líneas de producción automáticas y mecánicas han reducido el costo del producto y han elevado su calidad siendo un paso esencial en el desarrollo de la fundición (Ribeiro, 2001).

I.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los tiempos que estamos viviendo donde el medio ambiente se ha vuelto una prioridad para el hombre, ya que nos encontramos en una época en que el planeta esta saturado de contaminantes que perjudica nuestro ambiente, es necesario ahora que todas las empresas tengan y utilizan tecnología limpia. Como se sabe en un proceso de fundición de hierro gris y nodular se desprenden gases que perjudican al medio ambiente por lo cual estas emisiones deben de ser capturados mediante un equipo adecuado que controle este tipo de emisiones, lo que permitirá la salida de un gas limpio que no perjudique al medio ambiente.

En la actualidad toda empresa que emita gases humos o partículas a la atmósfera debe contar con equipos para el control de las emisiones resultantes de la operación de producción, lo anterior con la finalidad de dar cumplimiento

a lo dispuesto en la Legislación Ambiental Mexicana vigente, la cual establece que todas las emisiones a la atmósfera deben ser canalizadas y controladas.

Para la selección del equipo más apropiada para el control de las emisiones a la atmósfera provenientes de los hornos de fusión, se tomo en consideración, primero el tamaño de partículas existentes en los gases de emisiones.

El equipo de control debe contar con ciertas características que ayuden a la disminución de las emisiones a la atmósfera, de manera que se cumpla con la normatividad ambiental en materia de control de partículas y gases a la atmósfera, y por lo tanto en la disminución de las emisiones.

II.- JUSTIFICACIÓN

La propuesta de instalación de un equipo de control de emisiones provenientes de un horno de fusión eléctrico en una fundidora, tiene el propósito el controlar la contaminación por humos, gases y partículas que se desprenden al momento de la fundición del metal en el equipo.

III.- OBJETIVOS

III.1.- General

Implementar un equipo de control en un horno de fusión de hierro gris, para reducir la contaminación atmosférica generada durante el proceso de fundición.

III.2.- Específicos

- Reconocer los diferentes equipos de control para controlar las emisiones contaminantes que son generadas durante el proceso de fundición del hierro gris.
- Proponer la solución más apta para controlar la contaminación atmosférica en el proceso de fusión.
- Definir el equipo más adecuado para cualquier otro proceso donde se emitan gases, humos, partículas que contaminen el aire.

IV.- REVISIÓN DE LITERATURA.

Las emisiones contaminantes a la atmósfera provenientes de equipos de combustión, deben evaluarse con la finalidad de conocer la concentración de los contaminantes presentes en dichas emisiones, existen varios métodos de medición de entre los que se pueden mencionar; medición directa, cálculos matemáticos, factores de emisión y balances de materiales (De Nevers, 1998)

IV.1.- Evaluación de emisiones a partir de cálculo/estimación.

Para realizar o llevar a cabo la evaluación de emisiones a partir del método cálculo/ estimación se deben tomar en cuenta los siguientes pasos ya que son muy importantes en la obtención de los resultados.

Todos los datos de emisiones deberán ir identificados con letra C (calculado), o E (estimado), las cuales indican su método de determinación, expresados en kg/año y con tres dígitos significativos. En los casos en que el dato notificado sea la suma de emisiones procedentes de más de una de una fuente existente en el complejo, se pueden utilizar diferentes métodos de determinación de emisiones en las distintas fuentes, se asignará un único código ("C", o "E") que corresponderá al método utilizado para determinar la mayor contribución al dato de emisión notificado (Ley IPPC, 2002).

Calculado

Dato de emisión con base en cálculos realizados utilizando métodos de estimación aceptados nacional o internacionalmente y factores de emisión, representativos del sector industrial. Un dato es calculado cuando:

- Cálculos utilizando datos de actividad (como consumo de gasolina o diesel, tasas de producción, etc.) y factores de emisión.
- Métodos de cálculo más complicados utilizando variables como la temperatura, radiación global, etc.
- Cálculos basados en balances de masas.
- Métodos de cálculo de emisiones (Ley IPPC, 2002)

Estimado

Dato de emisión basado en estimaciones no normalizadas, deducidos de las mejores hipótesis o de opiniones autorizadas. Un dato es estimado cuando:

- Opiniones autorizadas, no basadas en referencias disponibles publicadas.
- Suposiciones, en caso de ausencia de metodologías reconocida de estimación de emisiones o de guías de buenas prácticas (Wark y Warner, 1996).

IV.2.- Industria de fundición de metales

El tamaño de las empresas dedicadas a la fundición de metales va desde pequeños talleres hasta grandes plantas manufactureras que producen miles de toneladas de piezas fundidas cada día. La generación de residuos está directamente relacionada con el tipo de material usado (hierro fundido, acero, bronce o aluminio) y depende del tipo de moldes y machos usados, así como de la tecnología empleada (Greenberg, 2001).

Cuadro No. 1 Procesos y residuos de un proceso productivo de hierro dulce.

Proceso	Residuos
Elaboración de moldes y machos	Arena usada
Fusión	Residuos de barrido y de los machos
Colada	Polvo y lodos
Limpieza	Polvo y humos

IV.3.- Descripción del proceso productivo.

En la fundición de hierro se fabrican piezas de hierro gris, hierro nodular. Su receptor mayoritario es el sector de automoción. En la fundición de acero se fabrican piezas de acero al carbón, de baja aleación, inoxidable, refractario, al magnesio, fundición blanca y otras aleaciones. La recepción de su producción se reparte de manera más equitativa entre diferentes sectores: maquinaria de obras públicas y canteras, y la valvulería de accesorios de tubería, seguidos de la industria del ferrocarril y de la construcción y cemento. La fundición de hierro y acero se distinguen dependiendo de carbono de la aleación: fundición de hierro (carbono >2%) y fundición de acero (carbono <2%) (Comisión Europea, 2000).

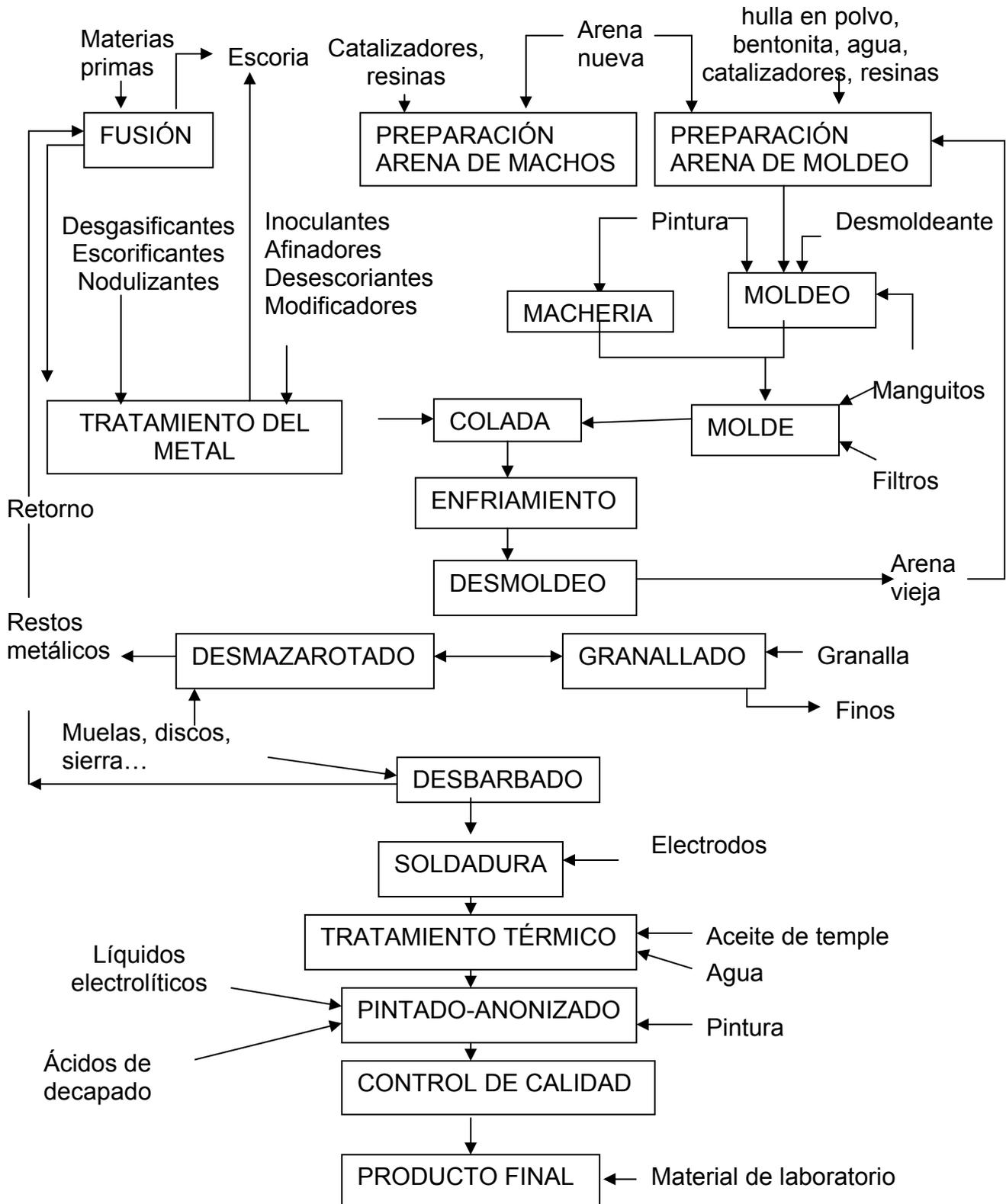
La fundición férrea consta de forma general de una serie de operaciones básicas.

1. Almacenamiento y manipulación de las materias primas.
2. Fusión de las materias primas (carga, fusión, recarga, refino, desescoriado).
3. Preparación de arena de machos y de moldeo.
4. Producción de moldes y machos.
5. Transferencia del metal fundido caliente en los moldes (colada de moldes).
6. Enfriamiento de los moldes y desmoldeo.
7. Acabados (limpieza de las piezas como desmazarotado, desbaratado, granallado; tratamiento de calor como el recocida; y otras operaciones de acabado (Ribeiro, 2001).

No todas las fundiciones férreas desarrollan la totalidad de los procesos enumerados. El modo operativo individual de cada una de ellas suele ser diferente al resto, pues el tipo de tecnología empleada vendrá impuesto por las características del producto fabricado composición química, tamaño de las piezas, fabricación seriada o bajo pedido, etc. así como por los requisitos del cliente y los factores económicos que afectan a la producción. Se presenta a continuación un diagrama de flujo con las principales entradas de materias

primas y de combustibles a proceso. Así como las principales salidas, tanto en lo que a emisiones atmosféricas como al tipo de acero producido se refiere (IHOBE, 2002).

Figura 1. Diagrama general del proceso de Fundición.



Se describen a continuación y de manera breve las principales etapas del proceso de fundición:

IV. 3.1.- Proceso de fusión y tratamiento del metal fundido

El horno de fusión se carga inicialmente con las materias primas que se van a fundir; de procedencia externa (lingote, chatarra de acero, ferroaleaciones, fundentes y combustible) y de procedencia interna (piezas defectuosas, etc.). Las operaciones que se incluyen en un proceso básico de fusión son: la carga, la fusión, y la recarga; el refinado, operación durante la cual se ajusta la composición química para conseguir las especificaciones de producto; lanzas de oxígeno (para el caso de hornos de arco eléctrico), el desescoriado, y el colado en moldes del metal fundido (Hauschnik, 1996).

IV. 3.2.- Arenería – producción de moldes y machos

Durante la manipulación de arena (arenería), la arena vieja procedente de la operación de desmoldeo se devuelve al área de preparación de arena de moldeo donde es limpiada, tamizada y reutilizada. Esta arena vieja regenerada, junto con otras materias primas (arena nueva, catalizadores, resinas, hulla, bentonita, agua) sirve para producir los moldes. En el área de preparación de arena para machos se utiliza arena nueva, catalizadores y resinas para la producción de los machos. Los machos se hacen de arena y un aglomerante; deben ser lo suficientemente resistentes para insertarlos en un molde. Los machos dan forma a las superficies interiores de una pieza moldeada que no pueden ser formadas por la superficie de la cavidad del molde. El fabricante de patrones entrega cajas de machos que son llenadas con arena especialmente aglomerada para producir machos con dimensiones precisas. Los machos se colocan en el molde y éste se cierra. A continuación, se vierte metal fundido en la cavidad del molde y se le deja solidificarse dentro del espacio definido por el molde de arena y los machos. En el área de moldeo y machería, se elaboran los moldes y machos, fundamentalmente de arena, con las huellas de las piezas que se van a fabricar. Cuando estas piezas tienen orificios internos se utilizan machos, para obtener el orificio sin necesidad de un mecanizado posterior. Las fundiciones de precisión con frecuencia usan el proceso de fundición a la cera perdida para hacer los moldes. En este proceso, los moldes se hacen construyendo una cáscara compuesta de capas alternativas de suspensiones refractarias y estucos, como sílice fundida, alrededor de un

patrón de cera. Las cáscaras de cerámica se colocan al fuego para remover el patrón de cera y precalentar las cáscaras para la colada (Guía EPER, 2001).

Otro proceso de elaboración de moldes en arena que está encontrando aceptación comercial utiliza un patrón de espuma de poliestireno embutido en arena tradicional suelta sin aglomerante. El patrón de espuma dejado en el molde de arena es descompuesto por el metal fundido, por lo tanto el proceso es llamado "moldeo con patrón evaporante" o "proceso de espuma perdida" (EPA, 2001).

IV. 3.3 Colada, enfriamiento de moldes y desmoldeo.

IV. 3.3.1.- Colada

Una vez que el metal fundido ha sido tratado para conseguir las propiedades deseadas, es transferido al área de colada en cucharas revestidas con refractarios. Se retira la escoria de la superficie del baño y se vierte el metal en moldes. Cuando el metal vertido se ha solidificado y enfriado, se saca la pieza fundida fuera del molde y se retiran los tubos verticales y las puertas. Los humos provenientes del metal en el área de colada normalmente son extraídos hacia un dispositivo de recolección de polvo, como una cámara de bolsas. Una vez que el metal fundido ha sido colado a los moldes se procede a su enfriamiento. Tanto en el caso de fundición de hierro como de acero, los castings una vez enfriados se sitúan en una parrilla vibratoria en la que se tiene lugar el desmoldeo. Esta operación trata de separar la pieza de la arena. Se trata de separarla de la caja de moldeo y de hacer desaparecer la mayor parte de la arena, tanto en la superficie como en el interior (procedente de los machos)(Greenberg,2001).

IV. 3.4.- Operaciones de acabado

Tras el desmoldeo siempre queda una capa de arena calcinada recubriendo la pieza, así como restos de machos en el interior de las cavidades. De esta manera se procede a la eliminación de la arena con el granallado. Tras el granallado se procede al desbarbado de las piezas. Entre las operaciones de acabados pueden considerarse también el mecanizado de las piezas, la recuperación por soldadura de los defectos superficiales, y el tratamiento térmico como el recocido (Goodger, 1997)

IV. 3.4.1.- Limpieza

Después del enfriamiento, se retiran los tubos verticales y los burletes de la pieza fundida utilizando sierras de banda, discos de corte abrasivos. La rebaba en la junta se retira con cinceladores. El contorneado de las áreas de corte y de la junta se hace con esmeriladora. La pieza fundida puede ser reparada mediante soldadura para eliminar defectos (Goodger, 1997).

Después de la limpieza mecánica, la pieza fundida es limpiada a chorro para retirar la arena, rebabas metálicas u óxido. Para limpiar piezas de hierro, generalmente se usa perdigones de acero y algunas veces una combinación de perdigones y arenisca. En el pasado, se usaba abrasivos maleables y de arenisca de hierro templado (Novais, 2003).

Los componentes de las piezas fundidas que requieren características superficiales especiales (como resistencia al deterioro o una apariencia atractiva) pueden ser revestidos. El prerequisite más importante de cualquier proceso de revestimiento es la limpieza de la superficie. El proceso de limpieza debe dejar la superficie en una condición que sea compatible con el proceso de revestimiento (Greenberg, 2001).

IV. 3.4.2.- Revestimiento

Las piezas fundidas son revestidas usando soluciones de enchapado, baños de metales fundidos, aleaciones, metales en polvo, metales volatilizados o sales de metales, revestimientos de fosfatos, porcelana y revestimiento orgánicos (Greenberg,2001).

La mayor cantidad de emisiones se produce en las etapas de Fusión, Arenería y producción de machos y moldes. Se describen a continuación y de manera breve las emisiones en estas etapas (CE, 2002).

IV.4.1.- Proceso de Fusión y Tratamiento del Metal Fundido.

IV.4.1.1.- Horno Eléctrico de Arco (HEA)

Los humos, gases, vapores, emisiones y partículas que se desprenden cuando inicia el proceso de fundición, durante y después el tratamiento del metal fundido son, el Dióxido de Carbono (CO_2), el Monóxido de Carbono (CO), Óxidos Nitrosos (NO_x), Materia en Partículas de 10μ o menores (PM_{10}), Partículas sólidas que contienen óxidos minerales y metálicos, compuestos orgánicos gaseosos, elementos traza (Ni, Cr, Cd, As) (Wark y Warner, 1996).

Los hornos de inducción se han convertido gradualmente en los hornos más usados para la fundición de hierro y, crecientemente, para aleaciones no ferrosas. Estos hornos tienen un excelente control metalúrgico y están relativamente libres de contaminación. Los hornos de inducción están disponibles en capacidades que van desde unas cuantas libras hasta 75 toneladas. Los hornos de inducción sin núcleo tienen una capacidad típica de 5 toneladas a 10 toneladas. En un horno sin núcleo, el crisol está completamente rodeado por una bobina de cobre refrigerada con agua. Los hornos de inducción de canal se usan comúnmente como hornos de conservación (CE, 2002).

Los hornos de inducción son hornos eléctricos de corriente alterna. El conductor principal es una bobina, que genera una corriente secundaria mediante inducción electromagnética. La sílice (SiO_2), que está clasificada como un ácido, la alúmina (Al_2O_3), clasificada como neutra y la magnesia (MgO), clasificada como material básico, se usan generalmente como refractarios. La sílice se usa frecuentemente en la fundición de hierro debido a su bajo costo y porque no reacciona fácilmente con la escoria ácida producida cuando se funde hierro con alto contenido de silicio. Los hornos de reverbero y

de crisol son usados ampliamente para la fundición en lotes de metales no ferrosos como aluminio, cobre, zinc y magnesio. En un horno de crisol, el metal fundido es mantenido en una estructura con forma de marmita (crisol). Los calentadores eléctricos o a combustible fuera de esta estructura generan el calor que pasa a través de ella hasta el metal fundido. En muchas operaciones de fundición de metal, se acumula escoria en el revestimiento de la superficie metálica, mientras que en el fondo se acumulan lodo pesado no fundido. Ambos reducen la vida útil del crisol y deben ser retirados para ser reciclados o tratados como residuos (Hauschnik, 1996)

IV.4.2.- Arenería – Producción de Moldes y Machos

Las mayores emisiones en las operaciones de producción de moldes y machos son de PM₁₀ y proceden de la regeneración de arena, preparación de arena, mezcla de la arena con aditivos y aglomerantes y de la conformación de moldes y machos. Las emisiones de VOC y demás contaminantes gaseosos (CO, CO₂, HCN, SH₂, NH₃, Benceno, HAP, SO_x, NO_x) proceden del uso de los aglomerados orgánicos y catalizadores, y de procesos de calentamiento durante la fase de producción de los moldes y los machos. Las emisiones se producen principalmente durante el calentamiento o vulcanizado de los moldes y machos o durante la extracción de los machos de sus cajas (EPA, 2001).

IV.4.3.- Colada en Moldes, Enfriamiento y Desmoldeo.

Los productos de combustión generados durante la colada en los moldes son el CO, CO₂, NO_x, SO_x producto del precalentamiento de cucharas de colada; Emisiones gaseosas [VOC, Benceno, HAP (Hidrocarburos aromáticos poli cíclicos) de volatización y degradación térmica, compuestos químicos de aglomerantes o negros de fundición, vaporización de modelos desechables, olores, PM₁₀ de desmoldeo (CE, 2002).

Cuadro No. 2 Contaminantes recogidos en sub-lista sectorial del Documento Guía para realización del Inventario Europeo de Emisiones y Fuentes Responsables (EPER).

		PM ₁₀	HCl	HAP	C ₆ H ₆	HCN	PCDD/f	Zn	As	Ni	Cr	Cu	Cd	SO _x	NO _x	VOC	CO ₂	CO	NH ₃
Proceso		Contaminantes																	
		PM ₁₀	HCl	HAP	C ₆ H ₆	HCN	PCDD/f	Zn	As	Cr	Cu	Cd	SO _x	NO _x	VOC	CO ₂	CO	NH ₃	
Horno de Fusión	Inducción de	✓					X	X	X	X	X	X							
Refino (convertidor AOD y cuchara)		✓	X					✓	✓	✓	✓	✓		✓			✓	✓	
Refino (inoculación)		✓						✓	✓	✓	✓	✓							
Machería		✓			✓	✓							✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Manipulación de arena producción de moldes		✓		✓	✓	✓							✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Secado de moldes		✓													✓	✓			
Colada y enfriamiento		✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓	✓	
Desmoldeo		✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓			✓				✓
Granallado, desmazarotado, desbarbado.		✓																	

Se dispone de factor de emisión ✓

No se dispone de factor de emisión X

IV.5.- Evaluación de Emisiones a partir de Cálculo/Estimación.

La evaluación de las emisiones tiene como propiedad la utilización de las medidas que las fundiciones hayan podido realizar. En ausencia de medidas, se recurre a la evaluación de las emisiones a partir de factores de emisión (cálculo) (Novais, 2003)

Los factores de emisión son los datos que expresan la cantidad emitida de una sustancia por tonelada de metal producido, unidad de combustible consumido, etc. Los factores utilizados en este sector son los que se detallan a continuación:

Cuadro No. 3. Evaluación de las emisiones a partir de factores de emisión.

Operación	FE (factor de emisión)
Combustión industrial	Gas industrial
	Kg contaminante/ Nm ³
	Kg contaminante/termia
Fusión, refinado y operaciones auxiliares	Kg contaminante/kWh
	Kg /t Metal líquido producto
	Kg /t Metal cargado
	Kg /t Materia prima cargada
	Kg / t Metal inoculado
	Kg /t Abrasivo utilizado
	Kg/t Arena manipulada

IV.6.- Factores de emisión de instalaciones auxiliares en procesos de combustión

En el siguiente cuadro se presentan los valores aplicables para la determinación y cálculo de las emisiones a la atmósfera mediante la aplicación de los factores de emisión.

Cuadro No. 4 Valores aplicables para la determinación y cálculo de las emisiones a la atmósfera.

Contaminante	CH ₄	CO	CO ₂	VOC	NO _x	SO _x	N ₂ O	PM ₁₀		
Etapa de proceso	g/GJ	g/GJ	Kg/GJ	g/GJ	g/GJ	g/GJ	g/GJ	g/GJ		
Instalaciones auxiliares										
Calderas y quemadores (<50 MW)										
Gas Aire	1,4	1,0	55,8	5	62	Desp	1	Incont.	Desp.	
natural Oxígeno	Desp.	Desp.	56,1	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Incont.	Desp.	
Turbinas gas										
Gas natural	4	10	55,8	4	160	Desp.	4	Incont.	0,9	
Motores estacionarios										
Gas natural	4,7	136	55,8	47	1200	Desp.		Incont.	Desp.	

g/GJ: gramo contaminante por Giga Julio de combustible contenido.

Desp. : Despreciable.

Incont. : Incontrolado

Factores de emisión del CO₂ suponiendo un valor de oxidación de referencia de 0.99 para todos los combustibles sólidos y 0.995 para todos los demás combustibles (Hauschnik, 1996)

IV. 7 Criterios de selección particulares a las fundiciones

En las fundiciones, los agentes contaminantes del aire para la mayoría de las actividades, son las partículas que por su naturaleza, se pueden dividir, en polvos, gases y humos. Por esta razón, los colectores de polvo se pueden considerar como los componentes principales del equipo de purificación del aire (De Nevers, 1998).

Para la instalación de los equipos de control, además deberá de instalarse los siguientes equipos auxiliares, una campana de extracción, la cual estará colocada sobre el equipo, esta campana tiene como objetivo el captar los vapores, gases, humos y partículas generados, estos pasaran por una tubería la cual conducirá las emisiones hacia el dispositivo de control (casa de sacos y/o el ciclón colector) donde mediante el filtrado quedaran atrapados, los vapores, gases, humos y partículas, para que al momento de salir el aire mediante una chimenea, el aire salga libre de dichos contaminantes. Tal como se puede observar en el siguiente diagrama.

Figura No. 3 Diagrama de disposición típica de campana/dispositivo.

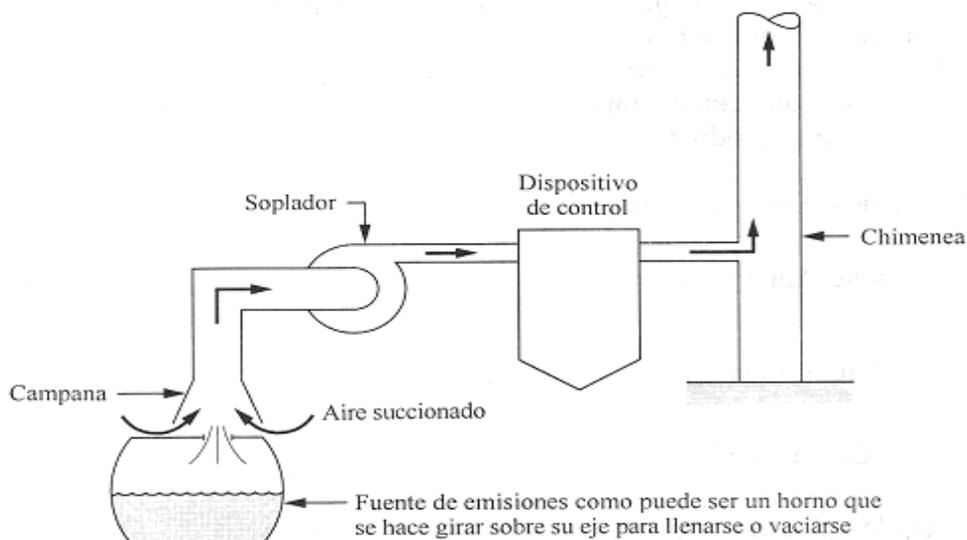


Figura No. 1.- En el cuadro anterior se puede observar una disposición típica de campana/dispositivo de control/chimenea para una fuente de emisiones que no se puede conectar por medio de un sistema cerrado de ductos hasta el dispositivo de control. En este diagrama de flujo, el ventilador se encuentra entre la fuente de emisiones y el dispositivo de control; también se puede colocar entre el dispositivo de control y la chimenea (De Nevers, 1998).

Tipos de equipos de control, entre los cuales se encuentran los siguientes:

Ciclón colector

Figura 4.- Diagrama típico de un ciclón colector.

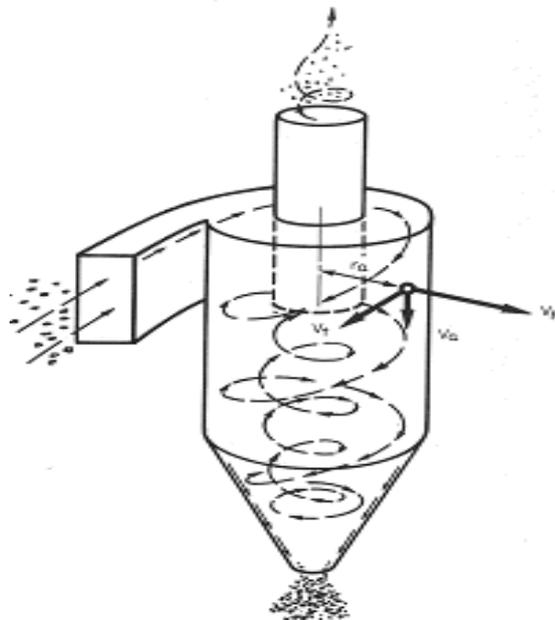


Figura No. 2. El flujo del gas es forzado en un espiral hacia abajo debido a los ciclones forma simplemente y la entrada tangencial. La fuerza y la inercia centrífugas causan las partículas al movimiento hacia fuera, chocan con la pared externa, y después resbalan hacia abajo hacia el fondo del dispositivo. Cerca del fondo del ciclón, el gas invierte su espiral hacia abajo y se mueve hacia arriba en un espiral interno más pequeño. El gas limpio sale de la tapa a través de un vórtex-buscador, el tubo, y las partículas salen del fondo del ciclón a través de una

pipa sellada por una válvula de aleta por resorte o una válvula rotatoria (Benítez, 1993)

Casa de Sacos.

Figura 5.- Diagrama típico de una casa de sacos

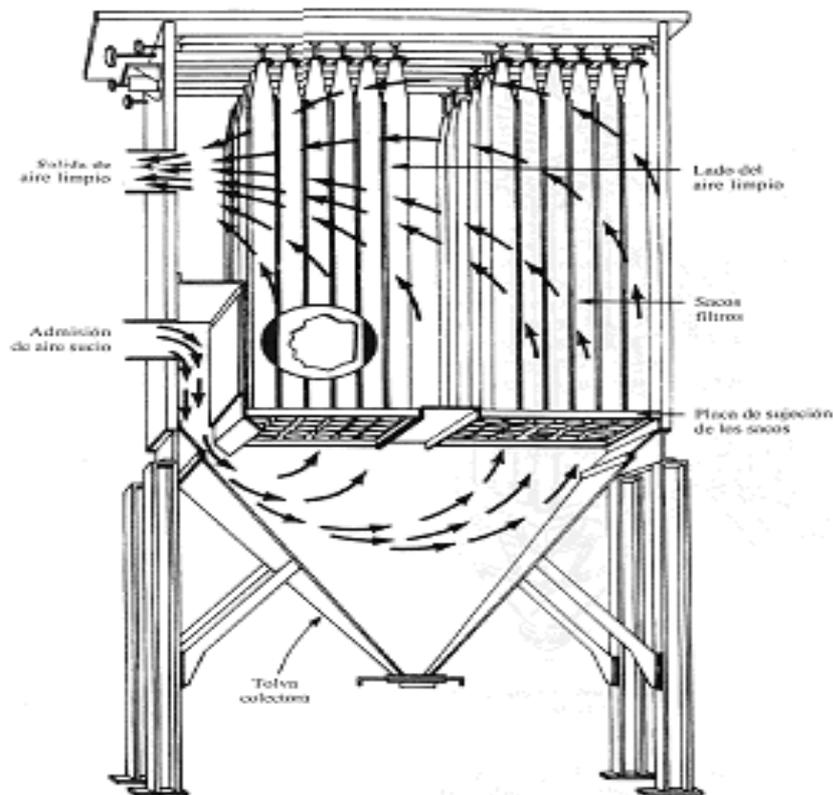


Figura No. 3: En este diagrama llamado casa de sacos también llamado filtro de sacudida y desinflado, consta de un gran número de sacos cilíndricos de paño que se cierran en la parte de arriba como una media gigantesca, con la punta hacia arriba. Estos se cuelgan de un soporte. Los extremos inferiores se deslizan sobre manguitos cilíndricos que se proyectan hacia arriba desde una placa que se

encuentra abajo, y se sujetan a ellos por medio de abrazaderas. El gas sucio fluye hacia el espacio que está debajo de esta placa y hacia arriba para entrar a los sacos. El gas fluye hacia afuera a través de estos últimos. Dejando detrás sus sólidos. Entonces el gas limpio fluye hacia el espacio de afuera de los sacos y se lleva por ductos hacia la chimenea de escape o hacia al algún proceso adicional (De Nevers, 1998)

IV. 8.- Control de la contaminación en las operaciones de fundición.

Las operaciones de fundición tienen una gran variedad de fuentes de contaminantes que se puedan controlar por el proceso de extracción y de ventilación. Algunos contaminantes, debido a su misma naturaleza, se pueden controlar simple y económicamente. Otros requieren de grandes inversiones de capital (De Nevers, 1998).

IV. 8.1.- Hornos de inducción eléctricos.

Los hornos de inducción eléctricos se han utilizado por años, sobre todo para fundir metal en las industrias de materiales no ferrosos. La cantidad depende de la condición del material de la carga. Por lo tanto la extracción de los gases generados, y el manejo para controlar la emisión durante y después de la operación de carga debe ser considerable. El tipo de extractor requerido es determinado por las condiciones locales y el volumen generado de gases (Greenberg, 2001).

La inoculación del metal en el horno requiere una cierta atención. En el proceso nodular de la inoculación del hierro, por ejemplo, donde, entre otros ingredientes, el magnesio se coloca en la olla de inoculación y el metal se vierte sobre este, hay una posibilidad definida de emisión excesiva de humos, especialmente si la operación no se realiza correctamente. Como en todos los diseños, el equipo se debe incluir cuanto sea posible, con las operaciones implicadas (Rubro, 1998).

Para la selección del equipo de control de emisiones a la atmósfera más conveniente y su posterior propuesta a la empresa, se llevaron a cabo los siguientes cálculos: (Robaina *et al.*, 2003).

1.- Determinación de la cantidad de material particulado emitido, durante la operación de fusión del metal.

2.- Determinación de la velocidad de extracción de los gases, humos y partículas generadas en la operación de fusión del metal.

3.- En base a los cálculos anteriores, realizar la propuesta del equipo más adecuado para el control de las emisiones a la atmósfera, proveniente de las operaciones de fusión del metal, en la empresa.

IV. 9.- METODOS PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACION

Los métodos que se requieren para controlar la contaminación se basan en tecnologías que permiten tratar los gases y las partículas que se desprenden durante cualquier proceso productivo.

IV. 9. 1.- Tecnologías de tratamientos de gases y material particulado

IV.9.1.1.- Tecnologías de tratamiento de gases

Existen cuatro tecnologías básicas que se emplean en el tratamiento de emisiones gaseosas: absorción, adsorción, incineración y condensación. La elección de la tecnología de control depende de los contaminantes que se deben remover, la eficiencia de remoción, las características del flujo contaminante y especificaciones de terreno. Normalmente, se mezclan dos o más tecnologías de remoción de gases en un sólo equipo, siendo las principales tecnologías de

remoción absorción y adsorción, y las tecnologías de condensación e incineración son usadas principalmente como pre tratamientos (Robaina *et al.*, 2003).

IV.9.1.2.- Tecnologías y equipos para tratamiento de material particulado.

IV.9.1.2.1.- Ciclones y separadores inerciales

Separadores inerciales son ampliamente utilizados para recoger partículas gruesas y de tamaño mediano. Su construcción es simple y la ausencia de partes móviles implica que su costo y mantenimiento son más bajos que otros equipos. El principio general de los separadores inerciales, es el cambio de dirección al cual el flujo de gases es forzado. Como los gases cambian de dirección, la inercia de las partículas causa que sigan en la dirección original, separándose del flujo de gases (Robaina *et al.*, 2003).

En la práctica, suele ser bastante más interesante utilizar un arreglo de varios ciclones de diámetro reducido. Este tipo de equipos reciben el nombre de “Multiciclón” y puede recuperar con buena eficiencia partículas relativamente pequeñas (cuatro mm y mayores). Estos equipos pueden utilizarse como pre separadores de otros equipos captadores para mejorar el funcionamiento de estos últimos, o bien en el caso de fundiciones se pueden utilizar como medio de control de las emisiones de las plantas de arenas (CONAMA, 1995).

IV.9.1.2.2.- Removedores húmedos

Generalmente se utilizan para captar partículas inferiores a cinco cm (las duchas captan sólo partículas gruesas). Son aptos para trabajar con gases y partículas explosivas o combustibles y/o de alta temperatura y humedad. Para alta eficiencia con partículas pequeñas se requiere alta energía, lo que implica altas caídas de presión. En forma parcial son capaces de remover gases, por lo que puede existir un problema de corrosión, y necesitar materiales especiales. En el

caso de las fundiciones, son poco utilizados porque al captar las partículas genera un problema de residuos líquidos, que eventualmente puede llegar a ser peligroso (Robaina *et al.*, 2003).

IV.9.1.2.3.- Precipitadores electrostáticos

Un precipitador electrostático es un equipo de control de material particulado, que utiliza fuerzas eléctricas para mover las partículas fuera del flujo de gases y llevarlas a un colector. Los precipitadores electrostáticos tienen eficiencias de 99,9% en remoción de partículas del orden de 1 a 10 μm . Sin embargo, para partículas de gran tamaño (20 - 30 μm) la eficiencia baja, por lo que se requiere de preferencia tener un equipo de pretratamiento, tal como un ciclón o mult ciclón (CONAMA, 1995)

En general, los precipitadores electrostáticos son utilizados para tratar altos caudales de gases, con altas concentraciones de material particulado, ya que el costo de mantención es elevado y sólo con un alto nivel de funcionamiento supera a otras alternativas más económicas e igual de eficientes (lavadores húmedos). En el caso de fundiciones, no se justifica debido a la característica de proceso “batch” en que funcionan (Robaina *et al.*, 2003)

IV.9.1.2.4.- Filtros de mangas

Son los sistemas de mayor uso actualmente en la mediana y grande industria, debido principalmente a la eficiencia de recolección, y a la simplicidad de funcionamiento. Las partículas de polvo forman una capa porosa en la superficie de la tela, siendo éste el principal medio filtrante. La selección o verificación de un filtro de mangas, en cuanto a la superficie del medio filtrante, se basa en la “velocidad de filtración”. Esta velocidad, también es conocida como “razón Aire-Tela (A/C)” (CONAMA, 1995).

Una consideración especial debe observarse con respecto al punto de rocío del flujo de gases, el cual se ve influenciado por la presencia de SO_3 en el flujo, ya que se produce la condensación en las mangas y éstas se tapan no permitiendo el filtrado. Además esta condición de condensación produce corrosión en los metales y más aún si hay presencia de SO_3 el cual con presencia de humedad se transforma en H_2SO_4 (ácido sulfúrico), por lo que también perjudicará por ataque ácido a la mayor parte de los materiales usados en las mangas. Por otra parte debe considerarse el eventual peligro de explosión si se trabaja con gases combustibles (ricos en hidrocarburos) o explosivos (CO proveniente de atmósferas reductoras en fundiciones) (Robaina *et al.*, 2003)

V.- MATERIALES Y MÉTODOS

La propuesta de instalación de un equipo de control de emisiones de gases contaminantes a la atmósfera, específicamente para el control de partículas sólidas, provenientes de la actividad de fusión de metal, se llevó a cabo en la empresa denominada Electro Acero del Norte, S. A. de C. V., ubicada en la ciudad de Gómez Palacio Durango, en el Parque Industrial Lagunero de esa ciudad, durante el periodo de Enero-mayo del 2010.

La empresa tiene como principal actividad la elaboración de piezas en Hierro gris, para lo cual realiza actividades de fundición de chatarra de hierro dulce, aleaciones como el ferrosilicio y ferroligas.

De acuerdo a los procesos existentes en la empresa se decidió controlar las emisiones provenientes del horno de fusión del hierro dulce, ya que se pudo observar que dicho equipo es el que produce la mayor cantidad de emisiones a la atmósfera. Estas emisiones están constituidas principalmente por partículas sólidas y gaseosas.

El equipo de control que se propone, tiene como finalidad disminuir las emisiones a la atmósfera provenientes de la operación de fusión de la chatarra de hierro dulce y las aleaciones de ferroligas, la fusión de los materiales se lleva a cabo en los equipos denominados hornos de inducción eléctricos, con que cuenta la empresa, en estos equipo es donde se lleva a cabo la operación de fusión del metal.

En la actualidad la empresa no cuenta con un equipo para el control de las emisiones resultantes de la operación de fusión del metal, por lo que con la finalidad de dar cumplimiento a lo dispuesto en la Legislación Ambiental vigente, la cual establece que todas las emisiones a la atmósfera deben ser canalizadas y controladas.

Aunque el control de la contaminación atmosférica hacia el interior de la empresa es necesario e importante, y da lugar a que las mismas descargadas puedan contaminar la atmósfera fuera de la planta. Las fuentes de los contaminantes, sin embargo, tienen una relación directa con la selección del equipo para la prevención y control de la contaminación atmosférica.

Para la selección del equipo más apropiado para el control de las emisiones a la atmósfera provenientes de los hornos de fusión en la empresa Electro Acero del Norte, S.A de C.V., se tomó en consideración, primeramente el tamaño de partículas existentes en los gases de emisiones, considerando que el tamaño de polvos y de humos metálicos cuentan con diámetros de entre 0.1 y 100 micras.

Una vez obtenido este dato de tamaño de partícula, se consulta el cuadro No. 5 de la cual determina, que el equipo más recomendado para este tipo de contaminantes y del diámetro que tiene estos, el equipo más recomendado para el control de las emisiones, se puede considerar que en primer lugar es: El Ciclón colector.

Cuadro No. 5 Diámetro de partículas (micras)



V.1.- Cálculo y diseño

Los dos parámetros fundamentales para poder considerar el diseño de un ciclón colector son la velocidad del gas y la pérdida de carga (caída de presión). Los ciclones son adecuados para el tratado de partículas mayores a cinco μm ; aunque partículas mas pequeñas, en ciertos casos pueden ser separadas. Los ciclones se diseñan habitualmente de tal modo que satisfagan ciertas limitaciones bien definidas de caída de presión.

Para realizar la función del aumento de la presión se deberá de disponer de un ventilador o soplador, el cual se encarga de impulsar el gas.

Para determinar el del Ciclón colector se debe tener en cuenta, entre otros datos, los siguientes:

- Flujo del gas conteniendo el contaminante de interés.
- Velocidad promedio del gas a la entrada del equipo.
- Área de ducto de entrada.

Tomando en cuenta que la empresa tiene una operación de su horno de fusión de 16 hr, produciendo 600 kg/2 hr obteniendo así un total de producción de 9.6 ton/día de la cual solo 8 ton/día se logran aprovechar y el resto que es de 1.6 ton/día se va como gas a la atmósfera. Para determinar esto se hizo la siguiente operación:

$$600 \text{ kg/ 2 hr (16 hrs)} = 9,600 \text{ Kg/día} = 9.6 \text{ ton/día}$$

$$9.6 \text{ Ton/día} - 8 \text{ Ton/día} = 1.6 \text{ Ton/día.}$$

El Flujo del gas conteniendo el contaminante de interés es de:

$$Q = 1.6 \text{ ton/día.}$$

Con una velocidad de 8 m/seg.

Una vez teniendo los parámetros anteriores se aplica la siguiente fórmula: (Echeverri, 2006).

$$Q = A / V$$

Donde:

- V= Velocidad del gas a la entrada del equipo.
- Q = Flujo del gas conteniendo el contaminante de interés.
- A = Área de ducto de entrada.

Para hacer la propuesta de instalación de un Ciclón colector, se tomaron los valores indicados en los párrafos con anterioridad, por lo que los valores para el diseño del equipo de control ya mencionado son los siguientes:

- $V = 8 \text{ m/seg.}$
- $Q = 1.6 \text{ ton/día}$
- $A = \text{variable a definir.}$

Sustituyendo los valores de la fórmula anterior y efectuando el despeje adecuado de la variable a definir, obtuvimos el siguiente valor:

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{1.6 \text{ ton/día}}{8 \text{ m/seg.}} = 0.2 \text{ m}$$

Por lo tanto el área de ducto de entrada es: $A = 0.2 \text{ m}$

Una vez determinada el área del ducto de entrada, el siguiente paso será el de determinar el Diámetro del ciclón para eso utilizamos la siguiente fórmula: (Echeverri, 2006).

$$D_c = \sqrt{\frac{A}{W_i \times H}}$$

Sustitución de valores:

$$D_c = \sqrt{\frac{0.2 \text{ m}}{0.25 \times 0.5}} = \sqrt{\frac{0.2}{0.125}} = \sqrt{1.6} = 1.26 \text{ m}$$

Por lo tanto el diámetro del ciclón es de: 1.26 m

Una vez que obtuvimos el D_c se determinan las dimensiones restantes tomando como guía el siguiente cuadro:

Cuadro No.6 Parámetros de valores para dimensiones de un ciclón convencional.

Parámetros	valores
Anchura de ducto de entrada del gas sucio. (W_i)	0.25
Altura de ducto de entrada del gas sucio. (H)	0.5
Diámetro de ducto de salida de aire limpio. (D_e)	0.5
Altura de ducto dentro del ciclón. (S)	0.625
Altura del cuerpo del ciclón. (H_1)	2
Altura del cono. (H_2)	2
Diámetro de ducto de salida de solido. (D_d)	0.25

*Cada valor de los parámetros se debe multiplicar por el D_c para la obtención de las dimensiones restantes del ciclón (Echeverri, 2006).

Dimensiones del Ciclón colector.

$$D_c = 1.26\text{m}$$

$$W_i = (1.26) (0.25) = 0.31\text{m.}$$

$$H = (1.26) (0.5) = 0.63\text{ m.}$$

$$D_e = (1.26) (0.5) = 0.63\text{ m.}$$

$$S = (1.26) (0.625) = 0.78\text{ m.}$$

$$H_1 = (1.26) (2) = 2.52\text{ m.}$$

$$H_2 = (1.26) (2) = 2.52\text{ m.}$$

$$D_d = (1.26) (0.25) = 0.31\text{ m}$$

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

El equipo de control debe contar con ciertas características que ayuden a la disminución de las emisiones a la atmósfera, de manera que se cumpla con la normatividad ambiental en materia de control de partículas y gases a la atmósfera, y por lo tanto en la disminución de las emisiones.

El Ciclón colector es el equipo de control que se selecciono para su instalación en la empresa, debido a que cuenta con las características favorables que nos permitirán lograr una reducción de los contaminantes que se emiten a la atmosfera y de acuerdo con los cálculos que se realizaron y debido a que el flujo de gas (Q) es de 1.6 ton/día, tiene un Área (A) de ducto de entrada de 0.2 m y una Velocidad de gases (V) de 8 m/s debe presentar las siguientes características:

- Se debe tener un Diámetro de Ciclón (D_c) de 1.26 m.
- Una altura (H_1) de 2.52 m y la misma medida tendrá la altura del cono (H_2) por el cual los sólidos recogidos serán desechados.
- El Diámetro de salida o desecho del ciclón (D_d) será de 0.31 m.
- Una altura de salida del gas limpio (S) de 0.78 m en el interior del cuerpo del ciclón.
- Un diámetro de emisiones de gas limpio (D_e) de 0.6 m.
- Una altura de entrada de gas en el ciclón (H) de 0.63 m.
- Una anchura de entrada de gas en el ciclón (W_i) de 0.31 m.

En el siguiente cuadro se muestra el porque es recomendable la utilización de Ciclón colector.

Cuadro No. 7 Ventajas y desventajas de equipo de control.

En este cuadro se describen las ventajas y las desventajas que presenta un Ciclón colector.

Equipo de control	Ventajas	Desventajas
Ciclón colector	<ul style="list-style-type: none"> • Bajos costos de capital. • Falta de partes móviles, por lo tanto, pocos requerimientos de mantenimiento y bajos costos de operación • Caída de presión relativamente baja, comparada con la cantidad de partículas removidas. • Las limitaciones de temperatura y presión dependen únicamente de los materiales de construcción. • Colección y disposición en seco. • Requisitos espaciales relativamente pequeños 	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencias de recolección de partículas suspendidas totales relativamente bajas, particularmente para partículas menores de 10 μm. • No pueden manejar materiales pegajosos o aglomerantes. • Las unidades de alta eficiencia pueden tener altas caídas de presión (Pérez <i>et al.</i>, 1994).

La propuesta de un equipo de control que se hizo para la empresa Electro Acero del Norte, S. A. de .C. V., se dio, debido principalmente a que en esta empresa se lleva a cabo la fundición de hierro gris y éste durante y después de llegar a su punto de fusión emite gases, humos y partículas que no tienen ningún control de contaminación, propiciando así la propuesta de instalación de un equipo de control que lograra captar todos estos contaminantes que son emitidos libremente a la atmósfera y de esta forma evitar que se siga contaminando mas el entorno ecológico de la empresa.

Un Ciclón Colector convencional fue el equipo de control sugerido como el mas adecuado para desechar las partículas contaminantes mediante su proceso de

centrifugado, ya que para depurar el aire cuenta con un proceso muy eficaz que logra controlar de un 90 a 98 % de los contaminantes. El Ciclón esta formado por un cilindro vertical con el fondo cónico, una entrada tangencial en la parte superior y una salida para el polvo en el fondo cónico, el ducto de salida (chimenea), se prolonga dentro del cilindro para impedir cortocircuito entre el aire de entrada y el de salida. La trayectoria de los gases es un torbellino descendente es espiral, adyacente a la pared, el cual trata de alcanzar el fondo del cono, pero a cierta altura cambia ascendiendo en espiral de menor diámetro en el centro del cuerpo. Esta espiral es concéntrica con la descendente y gira en el mismo sentido, finalmente el gas limpio sale a la atmósfera, todavía girando a través de la chimenea.

VII. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos y a la metodología empleada podemos concluir que:

- 1) El equipo de control elegido por ser el más adecuado de acuerdo a las características de la empresa y a los resultados arrojados en esta investigación fue el ciclón colector.
- 2) Este equipo de control alcanza una efectividad de depuración de contaminantes en el aire de un 90 a 98 %.
- 3) Con este equipo de control la empresa Electro Acero del Norte S.A. de C.V. cumplirá con la norma vigente en términos de legislación ambiental específicamente de la NOM-085-SEMARNAT-1994.

VIII. RECOMENDACIONES

- Después de la instalación del equipo sugerido es necesario hacer los planes de monitoreo para la planta y el equipo.
- Dar un seguimiento y cumplimiento de los procedimientos de seguridad y de control de la contaminación.
- Proporcionar el equipo adecuado de seguridad al personal que labora en el horno de fusión para evitar accidentes ya que se pudo observar la falta de equipo de protección.
- Tener una clara señalización dentro del lugar que se lleva a cabo las fundiciones ya que no se cuenta con ellas.
- Los resultados de las actividades descritas anteriormente, deben concordar con las normas Mexicanas, para las emisiones y efluentes de los gases provenientes de actividades de fundición.

IX. LITERATURA CITADA

- ❖ Benitez, J. 1993. Process engineering and design for air pollution control. Prentice Hall. New Jersey.
- ❖ Comisión Europea. 2000. Dirección General de Medio Ambiente. Decisión EPER. España.
- ❖ CONAMA. 1995. Estudio del Plan Maestro sobre Manejo de Residuos Sólidos Industriales en la Región Metropolitana. Agencia de cooperación internacional de Japón (JICA), Comisión nacional de medio ambiente. República de Chile.
- ❖ Echeverri, C.A. 2006. Diseño óptimo de Ciclones. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, Julio-Diciembre, año/vol. 5, numero 009, Medellín, Colombia. Pp. 123-139.
- ❖ De Nevers, N. 1998. Ingeniería de Control de la contaminación del Aire. "Ideas Generales en el Control de la Contaminación del Aire. McGraw Hill. México.
- ❖ Environmental Protection Agency, Air CHIEF 2001. Compilation of Air Pollutant Emission Factor – AP 42. USA
- ❖ Fundación Entorno, 1998. Informe Medio Ambiental del Sector Metalmecánico. España.
- ❖ Goodger, E.M. 1997. Alternative Fuels. McGraw Hill. México
- ❖ Greenberg, J. H., 2001 Emisiones de las fundiciones de Hierro. McGraw Hill. México.
- ❖ Guía EPER. 2001. Sectorial – Industria del Vidrio. Ministerio del Medio Ambiente. Paraninfo. España.

- ❖ Hauschnik, P. L. 1996. Taller de planificación “La gestión ambiental en las fundiciones”. Universidad de Antioquía - PROPEL Colombia
- ❖ IHOBE. 2002. Diagnósticos Ambientales Sectoriales. Paraninfo. España
- ❖ Ley IPPC 16/2002. 2002. Prevención y Control Integrados de la Contaminación. Paraninfo. España.
- ❖ Novais, O. T. M. 2003. Areia de Fundação: Uma Questão Ambiental. Brasil.
- ❖ Pérez, F., D. Ramírez, y J. Ramírez 1994 Diseño óptimo de colectores ciclónicos. Revista Ainsa. Numero 26, Medellín. Páginas 12-25.
- ❖ Perry, R H. 1986 Biblioteca del Ingeniero Químico. Equipos de Recolección. McGraw Hill. México. Páginas 100-107.
- ❖ Ribeiro, C. H. 2001. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFSC, Brasil.
- ❖ Robaina A. C. y M. D Sevilla 2003. "Epidemiología de las enfermedades relacionadas con la ocupación", Rev. Cubana Med Gen Integr. Páginas 5-10.
- ❖ Rubro Fundiciones. 1998. Guía para el control de la contaminación industrial. Paraninfo. España.
- ❖ Suárez, L. L. 1996. Mejores técnicas disponibles y medio ambiente en la industria primaria de los metales no férreos. Ministerio de obras públicas, transportes y medio ambiente, Dirección general de política ambiental. Ciudad de México.
- ❖ Wark, K. y C. Warner, (1996). Contaminación del aire. Limusa, México.